

Kajian Pemodelan Kemudi Kapal Pengawas Tanpa Awak

Naufal Abdurrahman, Sapto Wiratno Satoto, Hardi Radesha

Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Batam
Parkway Street, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
E-mail: abdurrahman@polibatam.ac.id

Abstrak

Kapal pengawas tanpa awak pada kondisi operasionalnya dituntut untuk bergerak cepat dan mampu bermanuver dengan lihai. Sistem kemudi adalah salah satu di antara alat mekanis yang dipakai untuk menentukan kemampuan manuver kapal dan mengarahkan kapal ke lokasi atau tujuan tertentu. Beberapa hal yang mempengaruhi kelincahan manuver kapal pada permukaan air adalah bentuk lambung serta kesesuaian daun kemudi dengan bentuk lambungnya. Daun kemudi yang tidak sesuai untuk ukuran kapal tertentu memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kapal tersebut pada saat berlayar. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan sistem kemudi yang optimal sesuai dengan bentuk lambung kapal pengawas tanpa awak sehingga mampu mendukung performa operasi kapal. Pendekatan perancangan model dibagi menjadi tiga tahapan proses, yaitu: *concept design*, *initial design* dan *detailed design*.

Kata kunci: Kapal pengawas, desain kemudi

Abstract

Unmanned surveillance vessels on operational conditions required to move quickly and to maneuver skillfully. The steering system is one of the mechanical devices used to determine and to able the vessel maneuvering and directed to a specific location or destination. Some things that affect agility maneuver the vessel on the water surface is form of the hull and rudder conformity with the shape of hull. Leaves the wheel is not suitable for a particular vessel size provide an enormous influence on the vessel at the time of sailing. This study aims to model the optimal steering system according to the shape of unmanned surveillance's hull so as to support the operation of the vessel's performance. An advanced approach to the design of the model is divided three stage process, i.e: *concept design*, *initial design* and *detailed design*.

Keywords: Surveillance vessel, rudder design

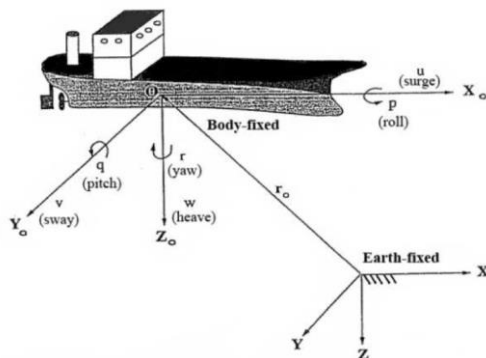
Pendahuluan

Perkembangan teknologi pada zaman sekarang mengalami perkembangan pesat pada semua sisi kehidupan manusia. Salah satunya dibidang teknologi kelautan. Kapal tanpa awak menjadi topik yang banyak diperbincangkan karena dapat membantu operasional kapal pada kondisi yang kurang ramah terhadap manusia maupun pada

kondisi tertentu misalnya pengawasan dan pengamatan daerah teritorial laut perbatasan maupun daerah perairan di pedalaman. Negara Indonesia yang terdiri dari kepulauan memerlukan armada yang bisa mengawasi kawasan dari kemungkinan pencurian sumber daya laut dan intervensi pihak asing lainnya. Kapal pengawas tanpa awak pada kondisi operasionalnya dituntut untuk bergerak cepat

dan mampu bermanuver dengan lihai. Sistem kemudi adalah salah satu di antara alat mekanis yang dipakai untuk menentukan dan mempengaruhi kemampuan manuver kapal serta mengarahkan kapal ke lokasi atau tujuan tertentu. Kelincahan pengemudian kapal (olah gerak kapal) dipengaruhi oleh bentuk lambung (bentuk buritan), tenaga baling-baling, bentuk dan ukuran daun kemudi, kemiringan kapal pada waktu berbelok maupun kondisi peletakan muatan kapal. Daun kemudi yang tidak sesuai untuk ukuran kapal tertentu memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap kapal tersebut pada saat berlayar. Daun dan motor penggerak kemudi lah yang memberikan arah pada saat kapal akan berbelok atau *maneuvering* dan memberikan *balance* atau keseimbangan pada saat kapal bergerak lurus [1].

Kapal mempunyai enam derajat kebebasan pada 3 sumbu ordinat x,y dan z yaitu *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw* seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [2].



Gambar 1. Derajat kebebasan pada kapal

Secara prinsip, motor penggerak kemudi kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan badan kapal, sistem propulsi dan sistem kemudi. Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh terhadap gaya-gaya dan momen hidrodinamika yang bekerja pada daun kemudi. Hal lain yang juga bisa berpengaruh adalah akibat kondisi daun kemudi yang terlalu besar, sehingga terjadi

ketidaksesuaian antara mesin penggerak kemudi dengan kemudi tersebut pada saat kapal dibelokkan.

Perancangan kemudi tidak mempunyai sistematika baku yang menjadi standar acuan perancangan karena masih sedikit penelitian yang membahas tentang hal tersebut [3]. Perbedaan sistem perancangan bergantung pada kemampuan dan fasilitas yang ada untuk melakukan proses perancangan.

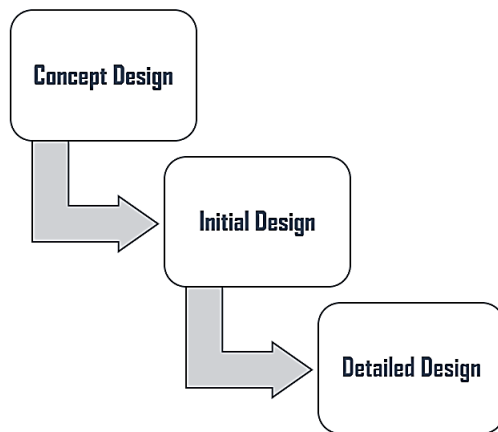
Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sebuah sistem kemudi yang optimal untuk operasional kapal pengawas tanpa awak. Sehingga diharapkan sistem kemudi yang akan dipasang pada kapal sesuai dengan kaidah yang patut dalam hal perancangan kapal. Perancangan badan kapal untuk kapal pengawas tanpa awak yang dimaksud penelitian ini dilakukan oleh penelitian lain.

Metodologi Penelitian

Penelitian dibagi menjadi beberapa sub fase yang saling berkaitan untuk memetakan proses penelitian. Gambar 2 menampilkan fase- fase penelitian yang dilakukan, meliputi concept design, initial design dan detailed design. Concept design membahas tentang penentuan ukuran utama kapal, pemeriksaan *hullform factor*, penghitungan luasan penampang kemudi, penilaian kesesuaian proses *concept design*, mengasumsikan nilai *tuning index* dan *following index*.

Initial design meliputi proses menentukan tipe profil kemudi, menentukan ordinary dan performance rudder, menentukan dimensi kemudi, memeriksa rudder design criteria.

Detailed design merupakan tahapan akhir proses perencanaan model kemudi yang berisi penentuan bentuk kemudi, penghitungan besaran gaya pada kemudi, torsi kemudi dan menghitung ketebalan blade kemudi.



Gambar 2. Metode penelitian

Hasil dan Pembahasan

Proses pemodelan sistem kemudi pada kapal pengawas tanpa awak yang menjadi pokok penelitian dibagi menjadi 3 tahap proses, yaitu concept design, initial design dan detail design dimana satu tahap dengan tahap selanjutnya saling berkaitan [3].

1. Concept Design

Proses concept design kemudi merupakan tahap yang penting karena menjadi acuan untuk langkah berikutnya. Proses ini meliputi beberapa langkah yang dilakukan, yaitu:

1.a. Menentukan ukuran utama kapal

Penentuan ukuran utama kapal merefleksikan keputusan untuk mengoptimasi kebutuhan sistem kapal secara umum. Kapal pengawas yang dirancang mempunyai dimensi utama yang ditampilkan pada Tabel 1. Besaran nilai ukuran utama tersebut dipertimbangkan dari berbagai faktor yang melatar belakangi konsep perancangan kapal seperti tinggi gelombang air serta kedalaman perairan yang menjadi daerah operasional kapal, kebutuhan pengguna kapal atau yang biasa disebut *user requirements*.

Tabel 1. Dimensi Utama Kapal

Loa	0,70 m
Lwl	0,66 m
Breadth	0,24 m
Height	0,075 m

T(draft)	0,035 m
Vservice	10 kts
Capacity	0,0029 t
No. of propeller blade	4
Dia. Of propeller (0,7*T)	0.02 m

1.b. Memeriksa hullform factor

Hullform factor mengindikasikan rasio perbandingan antar faktor yang membentuk bodi kapal, seperti waterline, midship section dan balok dengan dimensi sesuai dengan ukuran utama kapal. Tabel 2 menunjukkan besaran faktor koefisien balok, koefisien midship, koefisien waterline dari perhitungan hidrostatik badan kapal pengawas yang tercelup di dalam air menggunakan perangkat lunak Hullspeed.

Tabel 2. Hullform factor

Cb	0,94
Cwl	1,00
Cm	1,00

1.c. Menghitung luasan kemudi

Luasan kemudi berperan penting dalam mempengaruhi kemampuan kapal untuk belok/ maneuver. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk menentukan luasan kemudi adalah metode DnV [3] yang persamaannya seperti dibawah ini:

$$\frac{A_R}{L.T} = 0.01 + 0.5 \cdot \left(\frac{C_b}{L/B} \right)^2 \quad (1)$$

Dimana, A_R = luasan area. Dari perhitungan formula (1) didapatkan nilai $A_R = 0,15 \text{ m}^2$.

1.d. Menilai kesesuaian proses concept design

Luasan kemudi yang dihasilkan dari perhitungan nilainya dibandingkan dengan owner requirements. Owner requirement ditentukan dengan mempertimbangkan harga dan kepatutan ukuran kemudi pada kapal. Concept design dicek kembali dengan standar dari biro klasifikasi.

1.e. Asumsi nilai K (turning index), T (following index)

Nilai K dan T diasumsikan untuk mengevaluasi kemampuan *turning* kapal sebagai tahapan terakhir pada *concept design*.

K menunjukkan kecenderungan *turning velocity*, T menunjukkan kecenderungan *turning angle velocity*. Ketika kapal melakukan putaran pada sudut $10^\circ(\delta_1)$, $20^\circ(\delta_2)$, $30^\circ(\delta_3)$ dan kecepatan sudut $0.4^\circ/\text{detik}$, $0.6^\circ/\text{detik}$ dan $0.8^\circ/\text{detik}$, Kecepatan sudut adalah hasil perkalian sudut kemudi.

$$0.4^\circ/\text{detik} = K_1\delta_1 = K_1 * 10^\circ, K_1 = 0.04/\text{detik}$$

$$0.6^\circ/\text{detik} = K_2\delta_2 = K_2 * 10^\circ, K_2 = 0.03/\text{detik} \quad (2)$$

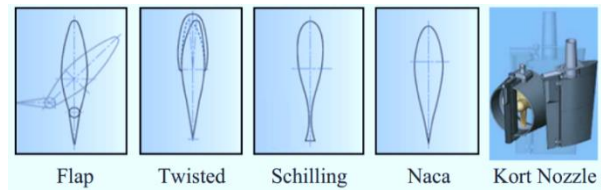
$$0.8^\circ/\text{detik} = K_3\delta_3 = K_3 * 10^\circ, K_3 = 0.027/\text{detik}$$

Persamaan (2) menunjukkan K (*turning index*) merupakan kecepatan sudut putaran, perkalian dari besaran sudut kemudi. Nilai K divariasikan dengan ukuran sudut kemudi dan beban tetap pada kapal yang sama. K bisa diasumsikan dari ukuran kapal dan sudut kemudi yang digunakan. Semakin besar sudut kemudi menyebabkan semakin besarnya hambatan ketika berputar. Selain itu, kapal membutuhkan waktu untuk berputar, tidak seketika setelah berputarnya kemudi. Pada permulaan waktu berputarnya kemudi, kecepatan putar yang pelan menyebabkan kesulitan untuk mengetahui beloknya kapal. Seiring berjalannya waktu, kecepatan sudut yang terakumulasi menjadi semakin besar sehingga memudahkan proses putaran. Waktu yang dibutuhkan disebut T (*following index*).

2. Initial Design

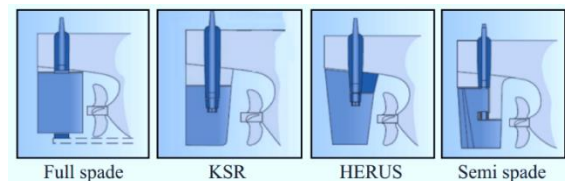
Proses initial design merupakan hasil perwujudan dari concept design. Jadi, proses ini berisi hal yang bisa diuji dan dibandingkan dalam masalah ekonomis maupun bentuk dan dimensi kemudi. Initial design diklasifikasikan dengan menentukan profil kemudi, model kemudi, dimensi, kriteria dan perkiraan kapasitas steering gear.

2.a. Menentukan tipe profil kemudi



Gambar 31. Klasifikasi profil kemudi

Gambar 3 menunjukkan beberapa klasifikasi profil kemudi. Tipe kemudi yang dipilih adalah tipe NACA yang mana tidak terlalu membutuhkan *specific user requirement* maupun dari hasil maneuver test. NACA mempunyai bentuk penampang yang kecil sehingga memperkecil nilai hambatan namun memiliki kekuatan yang menopang strukturnya. Tipe kemudi dibagi berdasar basis profil dan desain, disisi lain harus sederhana dan mempunyai unjuk kerja yang baik.



Gambar 42. Klasifikasi model kemudi

Terdapat empat model kemudi menurut Becker rudder standard, yaitu: fullspade, KSR (King Support Rudder), Herus support dan semi spade sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Kemudi fullspade terdiri dari *movable part* dan tidak memiliki *horn*. Pada tipe ini, berat tumpuan pada kemudi sebesar berat kemudi itu sendiri yang tertumpu pada satu poros. Tipe fullspade digunakan pada banyak kapal besar karena dapat mencegah *gap cavitation*.

Tipe KSR didukung oleh poros yang besar karena hal tersebut mengurangi *fatigue* dan *bending moment*. Tipe Herus didesain secara umum pada kapal besar dengan kecepatan lambat seperti bulk carrier dan tanker yang mana bisa meningkatkan efisiensi hidrodinamis. Selanjutnya tipe kemudi *semi*

spade yang terdiri dari rudder *horn*, *pintle*, dan *semi spade blade*. Tipe terakhir ini menjadi pertimbangan untuk dipasang pada kapal pengawas yang menjadi objek penelitian.

2.b. Menentukan ordinary dan performance rudder

Ordinary rudder mempunyai beberapa tipe, yaitu single plate, NACA series, flat side, mixed dan hollow. Gambar 5 menunjukkan nilai koefisien Kc untuk ordinary rudder [2].

	Profile Type	Kc	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Single plate	10	10
2	Naca series	11	0.80
3	Flat side	11	0.90
4	Mixel	1.21	0.90
5	Hollow	1.35	0.90

Gambar 5. Nilai Kc untuk ordinary rudder

Bentuk penampang bisa ditentukan dari koefisien Kc berdasarkan bentuk penampang. Ordinary rudder mempunyai beberapa jenis tipe seperti single plate, NACA series, flat side, mix dan hollow. Kapal pengawas direncanakan menggunakan tipe NACA dengan nilai ahead 11 dan astern 0,80.

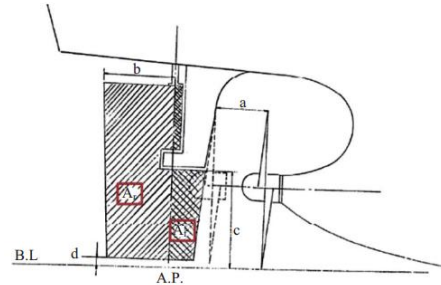
	Profile Type	Kc	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Fish tail = Schilling rudder	1.4	0.8
2	Flap rudder	1.7	1.3
3	Steering Nozzle	1.9	1.5

Gambar 6. Nilai Kc untuk performance rudder

Gambar 6 menunjukkan nilai Kc untuk performance rudder fish tail, flap dan steering nozzle pada kondisi ahead dan astern.

2.c. Menentukan dimensi kemudi

Aspek rasio dan balance rasio merupakan kunci untuk menentukan dimensi kemudi, seperti divisualkan pada



Gambar 7. Aspek rasio untuk dimensi kemudi

Aspek rasion daun kemudi ditunjukkan pada Gambar 7 dimana notasi 'a' merupakan nilai minimum tip clearance. Aturan klasifikasi DnV menunjukkan persamaan (3) berikut:

$$\text{Min. tip clearance} = a \geq 0,2 R \text{ (m)} \quad (3)$$

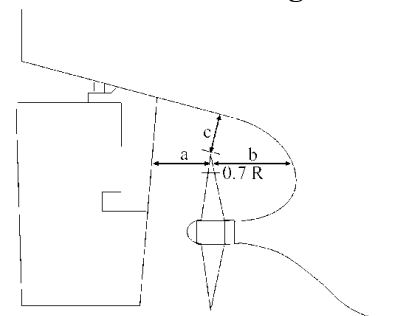
Dimana a= jarak 0,7 R;

R = radius baling- baling

Nilai R= 0,012 m, sehingga $a \geq 0,2 R = 0,0024$.

'b' harus didesain tidak boleh melebihi akhir bulk-head. Ketika diperlukan untuk pelepasan baling-baling, 'c' dikandung maksud untuk mencegah kerusakan. Ketika kapal melakukan pengedokan, jarak 'd' dari Base line ke kemudi memberikan jarak aman yang memadai.

2.d. Memeriksa rudder design criteria



Gambar 8. Desain Criteria Kemudi

Hal yang perlu diperiksa adalah jarak antara kemudi dan propeller, jarak antara hull bottom dan kemudi seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Tetapi yang jadi acuan pertama

adalah jarak antara kemudi dan propeller sebaiknya terletak dibelakang propeller. Pada Gambar 7, interval 'a' dan 'b' semakin besar, maka getaran semakin kecil dan performa propulsi semakin baik.

$$a \geq 0,2R \quad (4)$$

$$b \geq (0,7 - 0,04Z)R \quad (5)$$

$$c \geq (0,48 - 0,02Z)R \quad (6)$$

Dimana, R = diameter propeller/2; Z = jumlah daun kemudi

Sehingga,

$$a \geq 0,0024 \text{ m}$$

$$b \geq 0,0013 \text{ m}$$

$$c \geq 0,0057 \text{ m}$$

3. Detail Design

Proses detail design mencakup penentuan layout struktur kemudi, bentuk dan kepastian dimensi kemudi yang terpasang. Jika informasi yang didapatkan pada initial design terdapat kesalahan, maka proses perlu diulang. Proses detail design dapat diringkas pada proses menentukan dimensi, struktur kemudi, luasan kemudi dan bentuk kemudi. Kemudian bisa dilanjutkan pada proses penanganan kavitasi, uji kecepatan dan performa maneuver kapal.

3.a. Menentukan dimensi/ bentuk kemudi

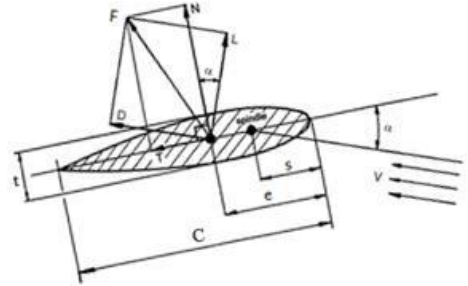
Profil/ bentuk kemudi telah dipertimbangkan sebelumnya pada tahap initial design. Tahap selanjutnya, jarak antara COG (Center of Gravity) kemudi dan AP harus disesuaikan paling kecil. Bentuk kemudi didesain dengan mempertimbangkan massa struktur kemudi tanpa menimbulkan tekanan yang berlebih sehingga mengakibatkan sebaran beban yang terlalu banyak pada struktur buritan kapal. Rules DnV menunjukkan minimum projected area pada persamaan (7)

$$A \geq \frac{dL}{100} \left(1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right) \quad (7)$$

Dimana, A = movable rudder vertical projected area; L = panjang kapal; B = lebar kapal; d = sarat kapal. Dari persamaan (7) didapatkan nilai $A \geq 3,5 \text{ cm}^2$.

3.b. Menghitung gaya kemudi

Gaya kemudi dipengaruhi oleh banyak faktor yang mempengaruhinya, seperti ditampilkan pada Gambar 9 [4]



Gambar 9. Gaya Pada Kemudi

Dimana C =panjang chord, e = center of pressure; F = total gaya; N = gaya normal; T = gaya tangensial; D = gaya drag; α = sudut attack; V = kecepatan; t = max. blade thickness.

Nilai gaya kemudi (F) ditetapkan dari persamaan (8) yang dirujuk dari aturan klasifikasi (CSS, 2006).

$$F = 132 * K_1 * K_2 * K_3 * A * V_d^2 \text{ [N]} \quad (8)$$

Dimana F = gaya kemudi; V_d = kecepatan kapal;

K_1 = koefisien aspect ratio Λ

$$= \frac{\Lambda + 2}{3}; \text{ dimana } \Lambda \text{ tidak lebih besar dari } 2$$

$$\Lambda = \frac{h_m^2}{A_t}$$

h_m = rata – rata tinggi rudder blade

A_t = movable rudder area + area of rudder horn

K_2 = koefisien tipe dan profil kemudi

= 1,1 → ahead; 0,8 → astern untuk tipe

NACA

K_3 = koefisien lokasi kemudi

= 0,8 untuk dibelakang propeller

$$F = 132 * K_1 * K_2 * K_3 * A * V_d^2 \text{ [N]}$$

$$= 132 * 0,6 * 1,1 * 0,8 * 0,00035 * 10^2$$

$$= 2.44 \text{ N}$$

3.c. Menghitung torsi kemudi

Nilai torsi kemudi ditentukan dengan menggunakan persamaan (9) [7]

$$T = FR \text{ [Nm]} \quad (9)$$

Dimana

$$R = (e-s)$$

$$= C(\mu - \beta)$$

$$C = A/h_m$$

μ = koefisien kondisi astern dengan (0,66)

$\beta = A_r/A = 0,3$ dari posisi lebar kemudi NACA

A_r = porsi luasan rudder blade didepan center line

Jadi,

$$R = 0.035(0,66-0.3)$$

$$= 0,0126$$

$$T = 2,44 * 0,0126$$

$$= 0,03 \text{ Nm}$$

3.d. Menghitung ketebalan blade kemudi

Struktur blade kemudi harus mampu secara efektif meneruskan gaya pada kemudi. Ketebalan sisi, atas dan alas tidak boleh kurang dari nilai hasil perhitungan pada persamaan (10)

$$t_s = 5,5h_s\phi\sqrt{d + \frac{F}{A} * 10^{-4} + 2,5} \text{ [mm]} \quad (10)$$

Dimana h_s adalah sisi terpendek web kemudi dan h_l sisi terpanjangnya. Nilai ϕ diambil 1 jika $h_s/h_l \geq 2,5$

$$\begin{aligned}\phi &= \sqrt{1,1 - 0,5 \left(\frac{h_l}{h_s}\right)^2} \\ &= \sqrt{1,1 - 0,5 \left(\frac{0,005}{0,005}\right)^2} \\ &= 0,6\end{aligned}$$

$$t_s = 5,5 * 5 * 10^{-2} *$$

$$\begin{aligned}0,6\sqrt{3,5 * 10^{-2} + \frac{2,4}{3,5*10^{-4}} * 10^{-4} + 2,5} \\ = 2,52 \text{ mm}\end{aligned}$$

Ketebalan plat bawah kemudi tidak boleh kurang dari 2,52 mm. Untuk pelat sisi tidak boleh lebih dari $0,7*t_s = 1,76 \text{ mm}$

Kesimpulan

Penelitian tentang sistem kemudi untuk kapal pengawas pada tahap awal yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa model kemudi yang dirancang dengan pendekatan

empiris *concept design*, *initial design* dan *detailed design* untuk kapal pengawas dengan mempertimbangkan aspek teknis spesifikasi adalah model NACA yang mana tidak terlalu membutuhkan *specific user requirement* maupun dari hasil maneuver test. NACA mempunyai bentuk penampang yang kecil sehingga memperkecil nilai hambatan namun memiliki kekuatan yang menopang strukturnya sehingga bisa tetap mendukung kinerja operasional kapal pengawas.

Saran untuk penelitian lanjutan mengenai sistem kemudi untuk kapal pengawas perlu analisa mengenai kekuatan struktur kemudi dan analisa aliran fluida yang mengenai strukturnya kemudi untuk mengetahui interaksi antara keduanya.

Acknowledgement

Tim peneliti menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Batam atas bantuan hibah penelitian untuk menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- [1]Baharuddin. 2013. "Studi Motor Penggerak Kemudi KMP. Sultan Muhrum Setelah Mengalami Perubahan Dimensi Daun Kemudi. Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK) Vol. 11, No. 1, Januari – Juni 2013
- [2]T. I . Fossen. 1994. Guidance and control of ocean vehicles. John Wiley & Sons Ltd.
- [3]Kim, Hyun-Jun, et. al. 2012. "A Proposal on Standard Rudder Device Design Procedure by Investigation of Rudder Design Process at Major Korean Shipyards". Journal of Marine Science and Technology Vol. 20, No. 4m pp. 450-458
- [4]Degu, Yonas Mitiku. 2014. Redesigning the Rudder for Nigat Boat. The international Journal of Engineering and Science Vol. 3, issue 1, pages 1-9